

TÉCNICAS ALTERNATIVAS DE CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN APLICADAS EN MATERIAL PALEONTOLÓGICO PROCEDENTE DE YACIMIENTOS DEL PLEISTOCENO MEDIO. ENSAYOS DE APLICACIÓN EN LOS YACIMIENTOS DE CUEVA DEL ÁNGEL, LUCENA (CÓRDOBA).

CONSERVATION & RESTORATION ALTERNATIVE TECHNIQUES APPLIED ON PALEONTOLOGICAL MATERIAL FROM MIDDLE PLEISTOCENE SITES. APPLICATION TEST IN CUEVA DEL ÁNGEL SITES, LUCENA (CORDOBA).

Eva MONTILLA JIMÉNEZ

Fundación Instituto de Investigación de Prehistoria y Evolución Humana. Plaza del Coso, 1. 14900 Lucena (Córdoba).
evamontillajimenez@gmail.com

Resumen. El objetivo de este trabajo es plantear una serie de técnicas alternativas que se puedan aplicar a yacimientos del Pleistoceno, para poder convertir los materiales extraídos en herramientas de trabajo para investigadores de diversas disciplinas. Por ello, la búsqueda de soluciones técnicas tanto de materiales como métodos de aplicación ha de ir encaminada a no dañar el ADN que pudiesen contener los restos óseos y a no alterar las marcas de corte. Los ensayos realizados se basan fundamentalmente en la aplicación de nuevas tecnologías como la nanotecnología o el láser Nd:Yag (y la constatación de su eficacia mediante difracción de Rayos X, espectroscopía electrónica, y microscopía electrónica de barrido SEM) para ver el grado de alteración que pueden provocar los productos y las técnicas con que se aplican.

Palabras clave: Conservación y restauración, limpieza mediante ablación láser Nd:Yag, material paleontológico, hueso, fósiles, consolidación, nanopartículas, Cueva del Ángel

Abstract. The objective of this paper is to raise a number of alternative techniques which can be applied to Pleistocene sites in order to turn excavated materials into usable tools for investigators of various disciplines. The search for technical solutions both in materials and methods of practice must aim to preserve. This project makes use of nanotech and laser Nd:Yag to protect DNA potentially contained within osteological remains as well as cut marks intact. The degree of alteration these new products and application techniques may or may not have upon the materials is verified using X-ray diffraction, electron spectroscopy and scanning electron microscope (SEM).

Key words: Conservation & restoration, cleaning by laser Nd:Yag ablation, paleontological material, bones, fossils, consolidation, nanoparticles, Cueva del Ángel

Sumario: 1. Introducción: el yacimiento. 2. Estado de la cuestión. 3. Tratamientos realizados en la colección fósil del yacimiento. 3.1. Plataforma. 3.2. Sima. 4. Material y métodos. 4.1. Material. 4.2. Métodos. 5. Resultados. 5.1. Resultados de la limpieza con láser Nd:YAG aplicado sobre el material óseo de la Plataforma. 5.2. Resultados de la consolidación con nanopartículas aplicada sobre el material óseo de la Sima. 6. Discusión. 7. Conclusiones. 8. Agradecimientos. 9. Bibliografía.

1. Introducción: el yacimiento

La Cueva del Ángel es un yacimiento de transición entre el Pleistoceno medio y superior (Barroso *et al.*, 2012) que se localiza en la Sierra de Aras, ubicada en el municipio cordobés de Lucena. Está conformado por tres espacios: Plataforma, Covacha y Sima.

El espacio que denominamos Plataforma se presenta actualmente al aire libre, aunque en un

momento indeterminado configuraba una cavidad que se derrumbó (Barroso *et al.*, 2012). El relleno sedimentario aquí presenta más de 5 m. de potencia. Parte de dicho relleno está ocupado por estructuras de combustión, lo que ha provocado que tanto el material óseo como lítico se encuentre termoalterado. El estudio de la fauna así como de la industria lítica enmarcan culturalmente a este yacimiento en un Achelense superior, característico de preneandertales, que

utilizaron este área como lugar de desmembramiento de la macrofauna (García Solano, 2014).

Las seis intervenciones arqueológicas -desde 1995 hasta 2013- se han desarrollado aquí, siendo por tanto, esta zona la mejor estudiada del yacimiento.

La Covacha, de unos 60 m², no ha sido excavada. En 2010 se realizó una limpieza donde se identificó parte del relleno sedimentario. Su suelo está conformado por una gran laja de piedra de más de 20 m. de longitud que a su vez configura el techo de la Sima, a la que se accede desde una abertura en la pared suroeste.

La Sima, de unos 100 m. de profundidad y unos 4 m. de anchura media, presenta una morfología estrecha y alargada. Posee una gran estructura sedimentaria con forma piramidal de unos 70 m. de altura. El vértice de esta pirámide de relleno coincide con la mencionada abertura de la pared suroeste de la Covacha, lo que nos sugiere que todo el sustrato de la Sima ha penetrado allí desde ese orificio.

En 2013 se intervino por primera vez en su interior, realizando un sondeo de 6 m² de superficie y 0,5 m. de potencia media. Estos trabajos de excavación, afectaron sólo a los tres primeros niveles estratigráficos, y como resultado se obtuvieron más de 2000 piezas de registro, conformadas por restos cerámicos de diversas épocas, restos faunísticos fosilizados y quemados (procedentes presumiblemente de la plataforma), algunas piezas líticas, y más de 800 restos humanos. Dichos restos son los más numerosos, rondando casi un 45% del total de los registros de la Sima.

Desde 2013 hasta 2018 hay aprobado un proyecto de investigación denominado: “Estudio sobre el Pleistoceno medio y superior en depósitos de cavernas en Andalucía: Cueva del Ángel”. El objetivo que se persigue es conocer los modos de vida de los homínidos en Andalucía, así como la posible conexión con las culturas paleolíticas norteafricanas de este periodo (Barroso, 2013).

2. Estado de la cuestión

Son muy pocas las investigaciones sobre los procedimientos de conservación aplicados en material óseo de yacimientos de cronologías pleistocénicas (Landucci *et al.*, 2003; López-Polín *et al.*, 2008, 2009, 2011; López-Polín, 2012;

Rosas *et al.*, 2005; Roubach, 2010). Estos procedimientos, consistentes fundamentalmente en limpieza y consolidación, poseen unas características propias que van encaminadas a preparar el fósil para que pueda ser estudiado por investigadores de diversas disciplinas. En el caso de la limpieza, aunque ha habido algunos ensayos de ablación láser con resultados favorables (López-Polín *et al.*, 2008; Chamón, 2008; Chamón *et al.*, 2008), no se ha continuado investigando la aplicación de esta metodología. En el caso de la consolidación, cada vez se presta mayor atención a los efectos a largo plazo que pueden tener los consolidantes sobre el hueso (Chiantore, 2001) y no son pocos los investigadores que han ensayado diferentes disoluciones en la búsqueda de un tratamiento compatible con el hueso (Kress, 1995; Rossi, 2004; Roubach, 2010).

3. Tratamientos realizados en la colección fósil del yacimiento

En el caso de Cueva del Ángel, hasta 2012, los materiales extraídos de la plataforma, han sido preparados con metodología actualmente desaconsejada por diversos organismos oficiales, como el Consejo Internacional de Museos (ICOM), la Confederación Europea de Organizaciones de Conservador-Restauradores (ECCO) y el Grupo Español del International Institute for Conservation (GEIIC). El hecho de que hasta 2013 no se haya incorporado el perfil de un conservador al equipo, ha favorecido que los procesos a los que han sido sometidas las piezas no estén detallados en ningún informe técnico o memoria. Por ello, se desconoce con exactitud el porcentaje y el tipo de ácido que se ha aplicado a las piezas. Tampoco sabemos si las piezas, tras la limpieza fueron sometidas a una neutralización del ácido. En este apartado abriremos dos subapartados correspondientes a dos zonas del yacimiento, en las que se han abordado las actuaciones de conservación de manera diferente.

3.1. Plataforma

Desde que comenzaron los estudios del yacimiento en 1995, los tratamientos de limpieza ejercidos sobre el material eran químicos, a base de ácidos, y se apoyaban mecánicamente con el empleo de punzones y cepillos. Además, algunas

de las piezas, habían sido consolidadas con disolución de polímero de metilmetacrilato. No es hasta 2013 cuando se incorpora un especialista en Conservación y Restauración al equipo. Ese mismo año se comienza a replantear un cambio en la metodología de aplicación de tratamientos de limpieza, rehusando el empleo de ácidos. Se comenzó a actuar sobre las piezas por inmersión en agua desmineralizada e interviniendo puntualmente con útiles de madera que no provocasen alteraciones en las piezas durante la retirada de concreción. Este método de limpieza resultó ser válido para las piezas que presentaban depósitos de arena cementada y pequeñas concreciones, pero sobre las concreciones de mayor tamaño o más calcificadas, no ejercía ningún efecto, por lo que se comenzaron a realizar algunas pruebas de limpieza en bañera de ultrasonidos.

Las piezas se sumergían en sesiones de 10 minutos alternas con intervención mecánica puntual sobre la concreción. Este proceso resultó útil para eliminar las costras de concreción más fina, pero en el caso de piezas con mayor grosor, o con costras de calcita, no surtía efecto alguno, por lo que se decidió paralizar el proceso temiendo poder dañar la pieza si continuaban los baños.

3.2. Sima

En la Sima sólo ha habido una campaña de excavación consistente en un sondeo de 6m² ejecutado en 2013.

El primer tratamiento realizado en algunos restos óseos fue la realización de una carcasa para proceder a su extracción, ya que presentaban un estado pulverulento y la humedad hacía complicada la utilización de un consolidante "in situ". Además, el cambio brusco de condiciones ambientales entre la sima (24°C y 95% HR) y el exterior (40°C y 20%HR) hizo que los primeros huesos largos y fragmentos de bóveda craneal de cierta entidad se craquelasen en decenas de esquirlas. Para tratar de solventar lo más rápidamente este problema sin atrasar las labores de excavación, se optó por impregnar los huesos con una capa del propio sedimento y sobre éste realizar una carcasa con venda enyesada. Esta solución es rápida y fácil de realizar dentro de una sima. Además, gracias a la humedad del sedimento, ni siquiera era necesario humectar la venda, sino que ésta

absorbía por capilaridad el agua de la costra de sedimento (de aproximadamente 1 cm). Una vez en laboratorio, se dejaban los huesos dentro de la carcasa unas 48 horas, así se favorecía un secado paulatino de los materiales. Para eliminar la carcasa y proceder a su limpieza, bastaba con introducir el paquete formado por la venda enyesada, el sedimento y el hueso en agua. Al humectarse el sedimento, se desprendía sola la carcasa y en cuestión de minutos, el sedimento se decantaba en el fondo del recipiente, quedando el hueso perfectamente limpio.

4. Material y métodos

4.1. Material

El material que vamos a abordar en este estudio son los restos óseos. En este apartado, también vamos a hacer una división por zonas del yacimiento, ya que en cada una el material óseo es distinto. En la Plataforma encontramos restos fósiles de fauna y en la Sima restos humanos no fósiles.

4.1.1. El material óseo de la Plataforma

Se trata de un registro paleontológico fuertemente fosilizado. La mayoría de los fósiles presentan alteración antrópica previa a la deposición -roturas, en su mayoría a favor del canal medular- que realizaron los homínidos presumiblemente para la extracción de la médula. Una vez aprovechado el recurso energético, un gran porcentaje de los restos excavados fueron arrojados al fuego, por lo que presentan también alteraciones térmicas.

Los materiales procedentes de la Plataforma, además, presentan alteraciones de tipo geológico derivadas del sistema kárstico al que estuvieron sometidos. En general, el relleno sedimentario está fuertemente compactado. En algunas de las unidades estratigráficas se observan formaciones de brecha calcárea, que además de suponer una alteración sobre las piezas, dificulta mucho el trabajo de los excavadores. En muchos casos, incluso, se producen roturas derivadas de las labores de extracción, ya que la brecha es más dura que los propios restos óseos, a pesar de estar fuertemente fosilizados.

Entre las alteraciones más frecuentes derivadas de la dinámica endokárstica encontramos:

- Arena cementada: de color pardo oscuro, compactada por el aporte hídrico con carbonatos en disolución. Presenta inclusiones de precipitación de carbonatos de morfología granulométrica.

- Carbonatos: Fácilmente observables por sus tonos que van del blanco al gris pasando por rosáceos. Están fuertemente adheridos a la superficie de los restos en forma de pequeñas manchas muy finas.

- Calcitas: Formación de cristales de calcita en las paredes internas u oquedades de algunos huesos. Es sin duda la alteración más complicada de eliminar, ya que es la más dura.

- Brecha calcárea: conforma auténticos conglomerados que extienden a lo largo de la superficie de algunos niveles aglutinando granos de arena, restos de talla, esquirlas, pequeños huesos y fragmentos de diversa entidad de huesos de mayor tamaño.

Algunas de las piezas presentan alteración química. Esta es la más preocupante para su conservación, y está provocada por un incorrecto proceso de limpieza con ácidos que no han sido neutralizados. Esto ha provocado que actualmente presenten un estado pulverulento y un olor que delata la presencia del ácido aún en el hueso.

Además hay que mencionar las alteraciones antrópicas actuales provocadas por las campañas arqueológicas: roturas durante la excavación por la dureza del sedimento y siglado con resina sintética de composición desconocida que se ha vuelto insoluble.

4.1.2. El material óseo de la Sima

Los restos que aparecen en la Sima son en su mayoría humanos y no están fosilizados. Presentan muy mal estado de conservación derivado de las condiciones propias de un sistema kárstico activo. El sedimento, permanentemente húmedo, es de una textura arcillosa y está compuesto fundamentalmente por pequeñas piedras y deposiciones de quirópteros. El agua de filtración ha ido arrastrando consigo las sales solubles, ya que los restos arqueológicos no presentan acidez, pero se hallan en un estado pulverulento, que hace sumamente complicada su extracción. Además estas condiciones de humedad dificultan la elección de un consolidante de aplicación *in situ*. Otras alteraciones que presentan los huesos de

forma generalizada son: roturas, erosión, desprendimiento del periósteo, fisuras y estrías en superficie.

4.2. Métodos

Es este apartado nos centraremos en dos métodos alternativos, uno de limpieza (aplicado sobre los fósiles de la Plataforma) y otro de consolidación (aplicado sobre los restos humanos de la Sima).

4.2.1. Método de limpieza con láser Nd:YAG aplicado sobre el material óseo de la Plataforma

Este método de limpieza, se emplea por primera vez en 1972 sobre esculturas de mármol, y posteriormente se ha ampliado su aplicación a los más diversos materiales: pintura, papel, textiles... Se trata de un método ampliamente aceptado en el ámbito de la conservación para la restauración de fachadas arquitectónicas y esculturas. Sin embargo su aplicación sobre material paleontológico sólo la hemos encontrado en un par de ocasiones (López-Polín *et al.*, 2008 ; Chamón, 2008 ; Chamón *et al.*, 2008).

La limpieza láser se basa en la eliminación de depósitos superpuestos sobre un objeto. Este fenómeno se denomina ablación láser y tiene lugar a través de mecanismos complejos en los que intervienen procesos de tipo térmico, fotoquímico y fotomecánico. Sintéticamente, el láser Nd:YAG actúa emitiendo una radiación infrarroja (creada a partir de un cristal de óxido de aluminio e itrio con átomos de neodimio cuya estructura es de granate). Dicho haz irradia pulsos de energía que provocan desprendimiento de las costras superpuestas sobre un material. Los pulsos de energía se alternan con pausas de muy corta duración que impiden que la energía se extienda por la pieza, evitándole por tanto un calentamiento que podría ser perjudicial para su conservación (Chamón *et al.* 2008).

Por lo tanto, las ventajas que ofrece el láser son numerosas:

- Es un método que permite efectuar una limpieza controlada si adecuamos los parámetros (longitud de onda, energía, duración y número de pulsos) para que incidan sobre la concreción, ya

Técnicas alternativas de conservación y restauración aplicadas en material paleontológico procedente de yacimientos del Pleistoceno Medio. Ensayos de aplicación en los yacimientos de Cueva del Ángel, Lucena (Córdoba)

que los distintos materiales absorben la energía del láser de manera selectiva.

- El calor sobre el blanco es mínimo, por lo que su aplicación sobre hueso resulta idónea.
- Es fácil de manejar una vez determinados los parámetros, por lo que una vez calibrado, su uso, no tiene porqué quedar restringido a los especialistas en restauración.
- Es un proceso que se realiza en seco, muy útil para la conservación del ADN que pudiesen contener los restos.
- Es un método poco contaminante desde un punto de vista medioambiental con la ventaja añadida que los operarios no se ven expuestos a productos químicos.
- El coste de operación es más bajo que otras técnicas.

Se seleccionaron tres fragmentos de fauna procedentes de la Cueva del Ángel: Dos fragmentos de hueso largo y uno de mandíbula. Los tres presentaban distintos grosores y tipologías de concreción. El material elegido se documentó fotográficamente con una cámara Olympus E330 antes de la intervención para posteriormente comprobar los resultados de la limpieza de ablación a la que fueron sometidas. Las características y parámetros del equipo de limpieza láser se detallan en la Figura 1.

El proceso de ablación se documentó con una cámara Go-Pro Hero 3 para poder medir los tiempos de actuación y sacar una velocidad media de la limpieza por cm^2 .

4.2.2. Método de consolidación con nanopartículas aplicado sobre el material óseo de la Sima

Cuando hablamos de nanopartículas nos referimos a partículas que miden entre 1-100 nanómetros. Un nanómetro es la millonésima parte del milímetro, así, una nanopartícula es

más pequeña que una célula, y su tamaño puede oscilar entre el de un virus -100nm- y el del ADN -1nm- (Gómez Villalba *et al.* 2011).

Las nanopartículas pueden ser de muy diversos materiales, pero aquí recurriremos a un material inorgánico que sea compatible con el material constitutivo del hueso. Quizá el consolidante más conocido desde tiempos históricos es el Hidróxido Cálcico, que carbonata en presencia del CO_2 atmosférico, transformándose en Carbonato Cálcico. La solución por la que se optó, por tanto, fue una dispersión de nanocal en Isopropanol. El Isopropanol, así como otros alcoholes, poseen baja tensión superficial que favorece la homogeneidad y profundidad de penetración. La solución escogida para el ensayo es una patente de la Universidad de Florencia, y fue empleada por primera vez en 1997 con buenos resultados como consolidante de pintura mural. Se comercializa bajo el nombre de Nanorestore y actualmente se emplea también en piedra. Es quizá el producto más estudiado de su gama, y, aunque a priori, consideramos que no es el idóneo para hueso, lo hemos elegido para hacer este ensayo simplemente para comprobar si las nanopartículas tienen capacidad de remineralizar sobre la estructura ósea.

Para la aplicación, se ha seleccionado un fragmento de hueso humano que durante la excavación en la Sima, se rompió en dos partes. Sobre una de ellas se hizo la prueba de consolidación, conservando la otra parte para luego analizarlas conjuntamente y estudiar los cambios producidos. La aplicación se realizó mediante saturación por inmersión en laboratorio, proceso que duró 6'35". Posteriormente, la pieza permaneció durante 7 días fuera de la disolución en el laboratorio - tiempo estipulado para una correcta cristalización de las nanopartículas-.

Tipo de láser	Nd:YAG (Yttrium Aluminium Granate) Q-Switch
Longitud de onda emitida (λ)	1064 nm
Puntero	Diodo
Energía del golpe	< 1J
Spot	5mm
Duración del impulso	10ns
Frecuencia	< 10Hz
Potencia	5mW

Figura 1. Parámetros del equipo de limpieza mediante ablación láser

Las analíticas consistieron en:

- Espectroscopia electrónica para apreciar los posibles cambios en la composición mineralógica del hueso antes y después de la aplicación.
- Microscopía electrónica de barrido SEM para observar cambios en la superficie del hueso antes y después de la intervención.
- Difractometría de Rayos X para saber la composición de los cambios acaecidos en el hueso.

5. Resultados

5.1. Resultados de la limpieza con láser Nd:YAG aplicado sobre el material óseo de la Plataforma

Los resultados de la limpieza se muestran en la Figura 2. Como se apreciaba a simple vista y como se pudo comprobar mediante el uso de la lupa binocular, se eliminó la suciedad, la costra calcítica y la concreción de varios tamaños sin dañar ni la cortical ni el esmalte. Además queremos destacar la rapidez del proceso, que según la medición de la superficie limpia nos da unos tiempos de 1'22" para 5cm².

En el fragmento de mandíbula, que presentaba un grosor de concreción que rondaba los 5mm., hubo que insistir con el procedimiento conocido como "steam cleaning", humectando la concreción para oscurecerla y optimizar así el rendimiento del láser, minimizando el tiempo de actuación y reduciendo por tanto el calentamiento de la pieza.

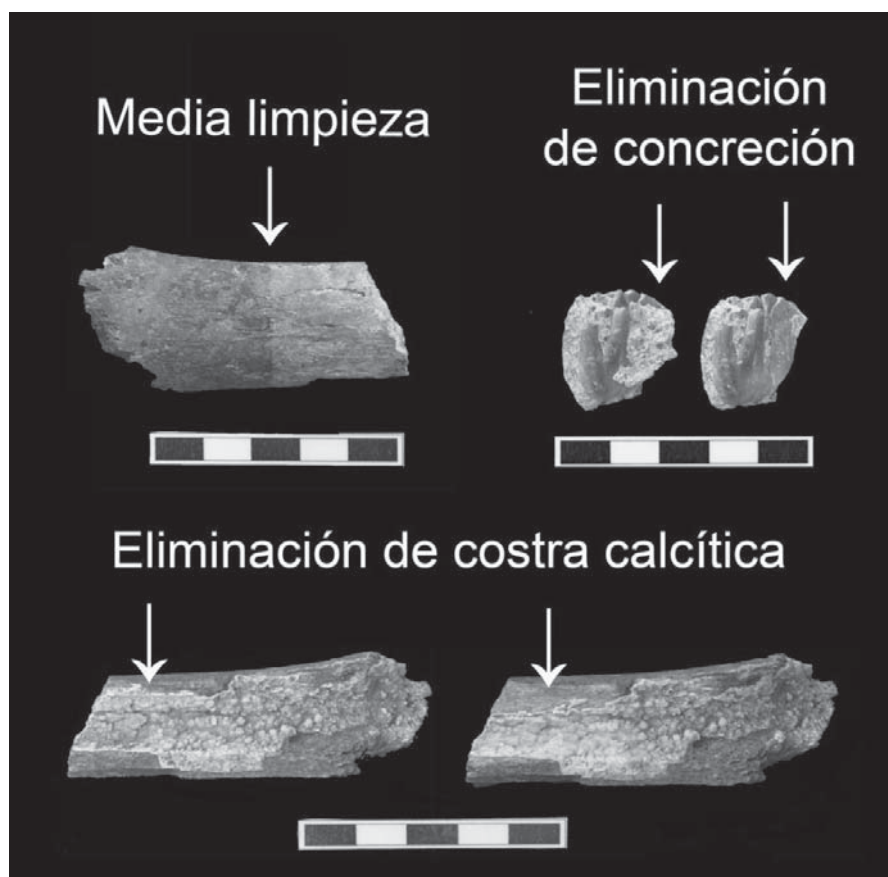


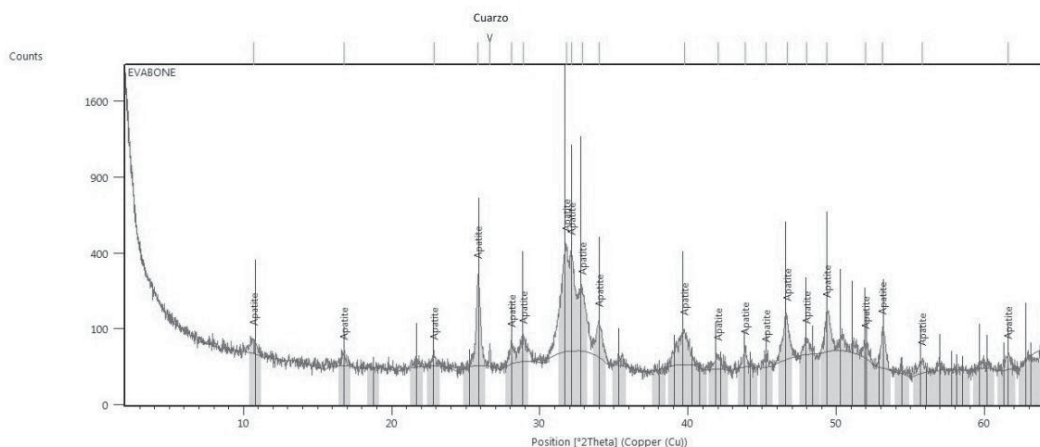
Figura 2. Pruebas de limpieza con láser Nd:Yag

5.2. Resultados de la consolidación con nanopartículas aplicada sobre el material óseo de la Sima

Transcurridos los siete días de cristalización de las nanopartículas, la muestra consolidada había dejado de presentar un estado pulverulento, y sus características físicas y mecánicas habían mejorado sensiblemente. La diferencia de estado entre la muestra tratada y la que estaba sin tratar eran patentes a simple

vista: Cada una estaba dentro de una pequeña bolsa de autocierre, y en el caso de la parte sin consolidar se observaba en la bolsa polvo blanco y algún fragmento del periosteó, mientras que la bolsa de la parte consolidada estaba completamente limpia. Ambas partes fueron enviadas al Laboratorio de Microscopía del Departamento de Geología y Geoquímica de la Universidad Autónoma de Madrid, que unos meses más tarde nos envió los siguientes resultados:

MUESTRA SIN TRATAR



MUESTRA TRATADA

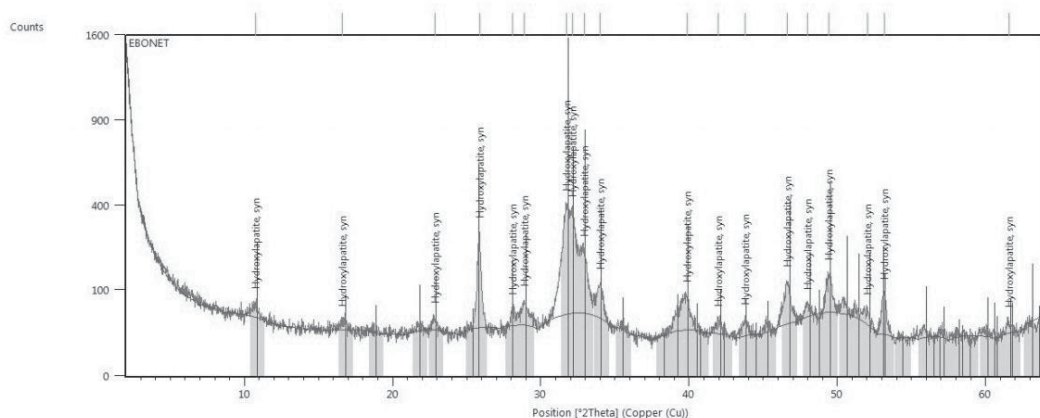


Figura 3. Análisis mineralógico mediante espectroscopia electrónica

El análisis mineralógico con espectroscopia electrónica (Figura 3) reveló que el espécimen sin consolidar estaba compuesto de Apatito $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$, composición habitual del hueso, mientras que el consolidado, se había transformado en Hidroxiapatito $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$, composición habitual de los fósiles, por lo que podríamos decir, que se habría producido una “fosilización artificial”. Al aplicar Hidróxido de Cal, el Apatito se ha convertido en Hidroxiapatito. Al observar las muestras al microscopio electrónico (Figura 4), la superficie de la muestra tratada con nanopartículas se presenta más compacta, y parece que las nanopartículas han actuado cristalizando en los huecos, rellenando los pequeños espacios y aglutinando de esta manera el material compositivo disgregado del hueso.

Sin embargo, en una de las fotografías tomadas de la muestra consolidada con el microscopio electrónico de barrido (SEM) se apreciaba una costra sobre la superficie del

hueso. Esta costra se analizó mediante difracción de Rayos X (Figura 5) y estaba formada fundamentalmente por sílice.

6. Discusión

La preparación de un fósil para el estudio consiste en la eliminación de los sedimentos depositados sobre él. A veces estos sedimentos son de una naturaleza carbonatada o calcítica, por tanto, el procedimiento de limpieza se vuelve delicado dada la dureza de la costra a eliminar y se pone en peligro la integridad del fósil. Esto es así porque mediante procedimientos mecánicos se ejerce cierta tracción y mediante químicos se puede atacar la naturaleza constitutiva del material. Normalmente, para jibarizar riesgos, se aplica una combinación de ambos procedimientos, siendo sobre la habilidad del restaurador donde recae la responsabilidad y el resultado del tratamiento.

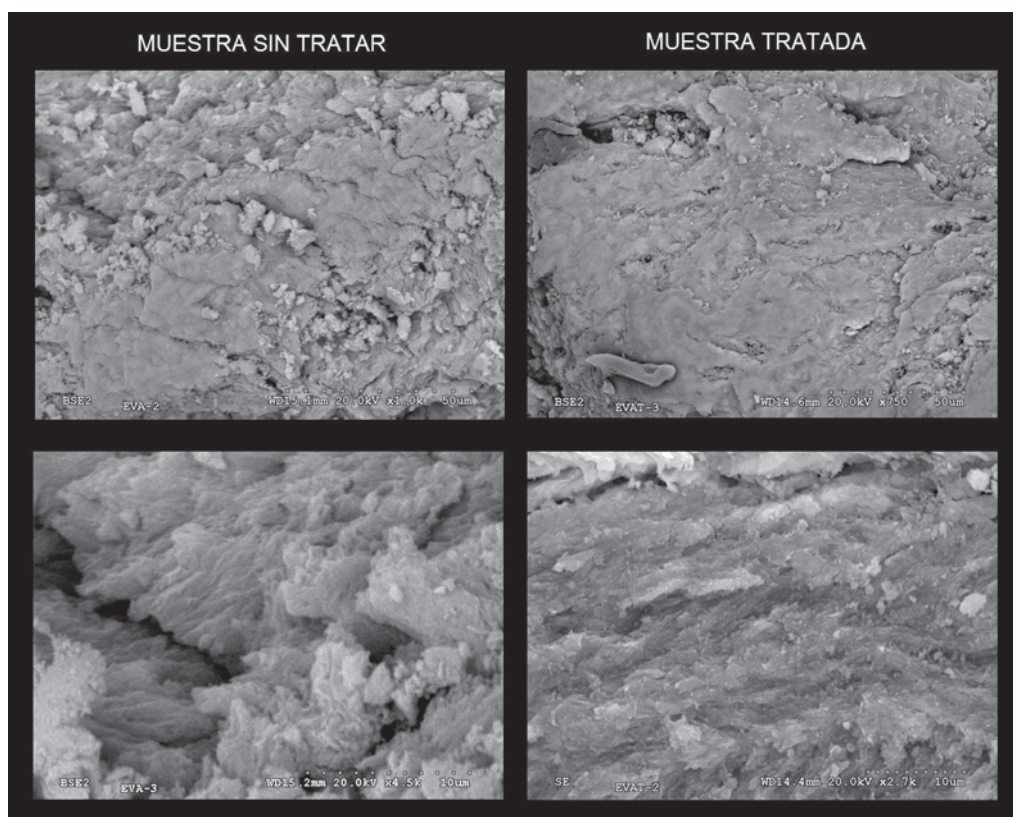


Figura 4. Microfotografía electrónica de barrido. SEM

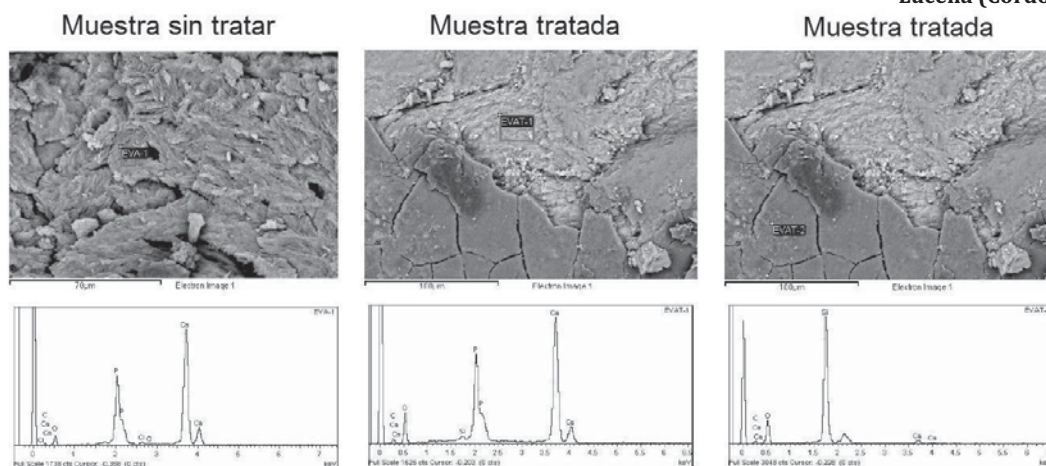


Figura 5. Difractograma de Rayos X

Por estas razones, creemos que es necesario trabajar en la búsqueda de sistemas alternativos que sean inocuos para las piezas y fáciles de emplear, de manera que se agilice el trabajo y se minimicen riesgos.

Si bien es cierto que el láser no es una herramienta habitual de limpieza en los laboratorios de conservación y restauración de yacimientos del Pleistoceno, su eficacia a la hora de eliminar concreciones, ya ha sido constatada por algunos investigadores que han recogido los resultados de sus trabajos en artículos (Chamón *et al.*, 2008; Landucci *et al.*, 2003; López-Polín *et al.*, 2008) y se presenta como una alternativa rápida y precisa a la hora de abordar la limpieza de los restos óseos ya sean fósiles o no. No obstante, la variedad de composición de concreciones aún en un mismo hueso y la multitud de variables de aplicación de la ablación láser, hacen necesario un estudio y una puesta a punto de cara a definir parámetros de aplicación sobre diverso tipo de concreciones.

En el caso de los materiales arqueológicos, el paso siguiente a la limpieza suele ser la consolidación, salvo que el material esté tan deteriorado, que necesite ser consolidado antes de su extracción del yacimiento. En estos casos la consolidación se vuelve contraproducente, ya que hace que el sedimento quede más fuertemente adherido al fósil (López-Polín, 2008). Una vez está la pieza en el laboratorio, la consolidación de urgencia se elimina y se procede a su limpieza. En estos casos, dicha limpieza no resulta fácil, ya que a pesar de que el uso de polímeros está muy extendido en la

consolidación de piezas arqueológicas y su inalterabilidad y reversibilidad han sido objeto de numerosos estudios (Chiantore, 2001; Kress, 1995; Rossi, 2004; Roubach, 2010) en la práctica, cuando se aplica sobre un material poroso es prácticamente imposible de eliminar.

Al aplicar un consolidante ocurren dos posibilidades: que penetre en el interior o que se quede en superficie. Es obvio que cualquier consolidante que se aplica a una pieza muy deteriorada, para que funcione, tiene que penetrar en el interior, por lo tanto, siempre que una pieza se somete a un proceso de consolidación, estamos introduciéndole un componente espurio y alterando su composición. Por el contrario, si el consolidante se queda sobre la superficie, forma una película superficial plástica que puede impedir la transpiración del material, además de alterarlo visualmente. Este método de aplicación, en el caso de piezas muy deterioradas, no garantiza la consolidación.

Hay que decir también que en el momento en el que sometemos una pieza a consolidación con polímeros, queda inservible para muchos de los análisis a los que puede ser sometida actualmente y a los que puedan surgir en un futuro (López-Polín, 2012). Por ello, se hace necesaria la búsqueda de un sistema alternativo de consolidación en el que no intervengan polímeros sintéticos, ya que por su propia naturaleza, a la larga, no son compatibles con el hueso o con los estudios que pueden realizarse sobre él. Y dado que el proceso de consolidación sobre el tejido esponjoso es irreversible, pensamos que quizá una solución alternativa,

sería realizar una remineralización, con un material que fuese más o menos similar al constitutivo del hueso.

El hecho de la costra rica en sílice de una de las tomas del microscopio electrónico de barrido, se ha interpretado como una alteración puntual de la muestra provocada por las arcillas del sedimento de la Sima, ya que es un mineral que no posee el hueso en composición ni el consolidante utilizado.

7. Conclusiones

En la limpieza mediante ablación láser no existe el contacto directo con el sustrato, lo que supone una garantía de la seguridad de la pieza. Además modificando los parámetros de actuación (fundamentalmente longitud de onda, energía, duración y número de pulsos) del equipo de ablación, se puede controlar la profundidad de actuación en nanómetros.

Aunque la limpieza mediante ablación láser es aún un método cuya aplicación en restos óseos no se ha estudiado lo suficiente, se presenta como una alternativa que combina rapidez y eficacia, contemplando la posibilidad de poder realizarse en seco (o humectando sólo la concreción), siendo una buena alternativa a la limpieza de restos susceptibles de contener ADN.

Las nanopartículas constituyen un sistema alternativo de consolidación, a base de una remineralización que actúa aglutinando las micropartículas disgregadas del hueso. Al aplicarse a una escala nanométrica, resultan imperceptibles. No obstante, los resultados expuestos en este artículo son de un ensayo puntual y hay que seguir trabajando en este sentido con la proporción y el origen de las nanopartículas para buscar las más compatibles a la hora de abordar tratamientos sobre hueso. Además se considera fundamental llevar a cabo una observación de su estabilidad a largo plazo.

En este trabajo simplemente se han querido presentar unas líneas de trabajo que a priori se consideran con potencial para ser aplicadas en los materiales procedentes de yacimientos del Pleistoceno. Estos estudios se pretenden continuar en el marco de una tesis doctoral que profundizará sobre estos y otros métodos alternativos de limpieza y consolidación sobre hueso y piedra, basándose siempre en la compatibilidad de materiales y en el respeto por las necesidades de otros investigadores.

8. Agradecimientos

En este trabajo me gustaría agradecer a Manuel del Pozo Rodríguez, coordinador del Laboratorio de Microscopía del Departamento de Geología y Geoquímica de la Universidad Autónoma de Madrid su disponibilidad y la honestidad de sus consejos. A Cecilio Barroso por confiar en mi propuesta y haberme dado la posibilidad de estar al frente de la conservación de la colección de Cueva del Ángel. A mis compañeros de FIPEH, especialmente a Carmen Fernández, Pepe García Solano y Paqui Jiménez por el asesoramiento y apoyo continuo en la investigación. Al equipo del CERP de Tautavel: Anne Marie Moigne, Agnès Testu, Arnaud Filoux y Nicola Boulbes por participar en el examen de los resultados y a Thibaud Saos por su inestimable ayuda en la interpretación de las analíticas junto a Fernando Adam, del ISCH. A CTS Madrid por la cesión del equipo láser para la experimentación y a Natalia Rebollo por las labores de traducción. Este artículo se inscribe dentro del proyecto de investigación denominado: "Estudio sobre el Pleistoceno Medio y Superior en depósitos de cavernas en Andalucía: Cueva del Ángel".

9. Bibliografía

- BARROSO RUIZ, Cecilio. 2013: *Estudio sobre el pleistoceno medio y superior en depósitos de cavernas en Andalucía: Cueva del Ángel*. Delegación Provincial de Cultura de la Junta de Andalucía. Córdoba. Inédito.
- BARROSO, Cecilio; BOTELLA, Daniel; CAPARRÓS, Miguel; MOIGNE, Anne Marie; CELIBERTI, Vincenzo; MONCLOVA, Antonio; PINEDA, Luisa; MONGE, Guadalupe; TESTU, Agnès; BARSKY, Deborah; NOTTER, Olivier; RIQUELME, José A.; POZO, Manuel; CARRETERO, M.^a Isabel; KHATIB, Samir; SAOS, Thibaud; GREGORIE, Sophie; BAILÓN, Salvador; GARCÍA, José A.; CABRAL, Antonio; DJERRAB, Abderrezak; HEDLEY, Ian G.; ABDESSADOK, Salah; BATALLA, Gerard; ASTIER, Nicolas; BERTIN, Laeticia; BOULBES, Nicolas; CAUCHE, Dominique; FILOUX, Arnaud; HANQUET, Constance; MILIZIA, Christelle; ROSSONI, Elena; VERDÚ BERMEJO, Luis; POIS, Veronique, DE LUMLEY, Henry. 2012: "La cueva del Ángel (Lucena, Córdoba): un hábitat achelense de cazadores en

- Andalucía". *Menga: revista de prehistoria de Andalucía*, 3, pp. 27-56.
- CASTILLEJO, Marta; DOMINGO, Concepción; MARTÍNEZ, Sagrario; OUJJA, Mohamed. 2011: "Láseres y Nanotecnologías para el Patrimonio Cultural (LANAPAC)". *Ciencia y Tecnología para la Conservación del Patrimonio Cultural* (1), pp. 27-30.
- CHAMÓN FERNÁNDEZ, Jorge; BARRIO MARTÍN, Joaquín; CRIADO PORTAL, Antonio J. 2008: "El láser de ablación como herramienta de limpieza en el Patrimonio Arqueológico". *Anuario de la Real Sociedad Española de Química* 104 (4), pp. 265-269.
- CHIANTORE, Oscar; LAZZARI, Massimo. 2001: "Photo-oxidative stability of paraloid acrylic protective polymers". *Polymer*, 42 (1), pp. 17-27.
- EKLUND, Julie A.; THOMAS, Mark G. 2010: "Assessing the effects of conservation treatments on short sequences of DNA in vitro". *Journal of Archaeological Science* 37 (11), pp. 2831-2841.
- GARCÍA SOLANO, José Antonio. 2014: La persistencia en las estrategias de subsistencia de los grupos humanos del pleistoceno medio, a partir del registro fósil de la Cueva del Ángel (Lucena, Córdoba). Tesis Doctoral. Universidad de Granada. Granada.
- GÓMEZ VILLALBA, Luz Stella; LÓPEZ-ARCE, Paula; FORT GONZÁLEZ, Rafael; ÁLVAREZ DE BUERGO, Mónica; ZORNOZA-INDART, Ainara. 2011: "Aplicación de nanopartículas a la consolidación del patrimonio pétreo". En SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA. Subdirección General de Publicaciones, Información y Documentación (eds.): *La Ciencia y el Arte III. Ciencias experimentales y conservación del patrimonio*. pp. 39-57. Ministerio de Cultura. Madrid.
- KRES, Leah A.; LOVELL, Nancy C. 1995: "A comparison of consolidants for archaeological bone". *Journal of field archaeology*, 22 (4), pp. 508-515.
- LANDUCCI, Francesco; PECCIONI, Elena; TORRE, Danilo; MAZZA, Paul; PINI, Roberto; SIANO, Salvatore; SALIMBENI, Renzo. 2003: "Toward an optimised laser cleaning procedure to treat important palaeontological Specimens". *Journal of Cultural Heritage* (4), pp. 106-110.
- LÓPEZ-POLÍN, Lucía. 2012: "Possible interferences of some conservation treatments with subsequent studies on fossil bones: A conservator's overview". *Quaternary International*, 275, pp. 120-127.
- LÓPEZ-POLÍN, Lucía; BERMÚDEZ DE CASTRO, José María; CARBONELL, Eudald. 2011: "Preparation of Pleistocene Human Bones with an Ultrasonic Scaler: The Case of Mandible ATD6-112 from Atapuerca (Spain)". *ArcheoSciences. Revue d'archéométrie*, 35, pp. 235-239.
- LÓPEZ-POLÍN, Lucía; BERTRAL, Anna; FONT, Bernat; OLLÉ, Andreu. 2009: "Preparation and conservation treatments of the Pleistocene fossils vertebrate remains from the cave site of Tossal de la Font (Vilafamés, Castelló, Spain)". *Paleontologia i Evolució*, 4 (Memòria especial), pp. 225-231.
- LÓPEZ-POLÍN, Lucía; OLLÉ, Andreu; CÁCERES, Isabel; CARBONELL, Eudald; BERMÚDEZ DE CASTRO, José María. 2008: "Pleistocene human remains and conservation treatments: the case of a mandible from Atapuerca (Spain)". *Journal of human evolution*, 54(5), pp. 539-545.
- LÓPEZ-POLIN, Lucía; OLLÉ, Andreu; CHAMÓN FERNÁNDEZ, Jorge; BARRIO MARTÍN, Joaquín. 2008: "Lasers for removing remains of carbonated matrices from Pleistocene fossils". En M. CASTILLEJO; P. MORENO; M. OUJJA; R. RADVAN Y J. RUIZ (eds.): *Lasers in the conservation of artworks*, pp. 477-481. LAONA IV, ICOMOS. París.
- ROSAS GONZÁLEZ, Antonio; FORTEA PÉREZ, Javier; DE LA RASILLA VIVES, Marco; FERNÁNDEZ COLÓN, Pilar; HIDALGO GONZÁLEZ, Almudena et al. 2005: "Restos neandertales de la Cueva de El Sidrón: una restauración al servicio de la investigación paleontológica". *PH Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 53 (Especial), pp. 70-73.
- ROSSI, D.; DE GRUCHY, S.; LOVELL, Nancy. C. 2004: "A comparative experiment in the consolidation of cremated bone". *International Journal of Osteoarchaeology*, 14 (2), pp. 104-111.
- ROUBACH, Souhila. 2010: "Matériaux et tests de consolidation des vestiges archéopaleontologiques: empreintes de feuilles Pliocènes (Camp dels Ninots) et restes osseux actuels et Pléistocènes (Gran Dolina et Arago)". *Annali dell'Università di Ferrara*, 6, pp. 61-68.